

С.О. НАЗАРЕНКО, к.т.н., с.н.с., с.н.с. каф. ОМ НТУ „ХПІ”;
В.Л. ХАВІН, к.т.н, проф., зав. каф. ОМ НТУ „ХПІ”

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДИНАМІКИ МАШИН КАФЕДРОЮ ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ НТУ "ХПІ"

Досліджено процес становлення та розвитку науково-педагогічної діяльності співробітників кафедри опору матеріалів НТУ "ХПІ" в XIX –XXI ст.. Проаналізовано еволюцію основних наукових досягнень від експериментальної та будівельної до обчислювальної механіки машин.

Ключові слова: механіка, статика, динаміка, високошвидкісне навантаження, міцність

Исследован процесс становления и развития научно-педагогической деятельности кафедры сопротивления материалов НТУ "ХПИ" в XIX –XXI ст.. Проанализирована эволюция основных научных достижений: от экспериментальной к компьютерной механике конструкций и машин.

Ключевые слова: механика, статика, динамика, высокоскоростное нагружение, прочность

The paper researches the dynamic process of establishment and development scientific - pedagogical activity of Department of strengths of materials NTU «KhPI» in the 19 –21st century. It discovered and explored the main scientific trends of evolution of Mechanics of machines.

Keywords: mechanics, statics, dynamics, electrical magnetic loading, strengths of materials

Вступ. Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут” (НТУ „ХПІ”) був створений у 1885 р. як Харківський практичний технологічний інститут (ХПТІ). Це був другий технологічний інститут в Російській імперії після Санкт-Петербурзького та другий за часом відкриття технічний вищий навчальний заклад на території України після Львівської технічної академії. Історія кафедри опору матеріалів нерозривно пов’язана з розвитком та діяльністю НТУ „ХПІ”. Кафедра опору матеріалів є однією найстаріших кафедр НТУ „ХПІ” та має багату історію, яку створювали нахненною роботою видатні вчені-педагоги та їх учні, що здійснили внесок у розвиток вітчизняної науки і техніки [1].

Мета дослідження полягає в реконструкції становлення і розвитку кафедри опору матеріалів в 19-21 сторіччі, характеристики еволюції творчих результатів наукових досліджень педагогів та вчених від експериментальної та будівельної до обчислювальної та комп’ютерної механіки машин.

Результати досліджень. Викладання опору матеріалів як фундаментальної інженерної дисципліни було розпочато у 1886 р. В.Л. Кирпичовим – заслуженим професором, одним з найвидатніших учених-механіків, талановитим педагогом та відомим громадським діячем, ідеологом і організатором вищої технічної школи. В.Л. Кирпичов у 1885-1898 рр. був засновником і першим директором ХПТІ [2]. Він вперше опрацював розроблену комплексну систему підготовки спеціалістів в ХПТІ, в якій добивався органічної єдності змісту освіти і програм наукової діяль-

© С.О. Назаренко, В.Л. Хавін, 2013

ності. У стінах ХПТІ В.Л. Кирпичов читав основні курси – „Опір матеріалів” і „Графічна статика” з 1886 по 1898 рр. Він розумів, що бурхливий розвиток світової економіки потребує переходу науки механіки (як основи розвитку техніки) у новий період свого розвитку з урахуванням зв'язку основних фундаментальних досягнень, прикладних задач та методів їх розв'язку при проектуванні. В. Л. Кирпичов започаткував вчення про подібність, спростив методи розрахунку різноманітних статично невизначених конструкцій.

Уперше в Росії В. Л. Кирпичов видав найповніші курси з опору матеріалів і статички споруд. У цьому курсі дуже вдало поєдналися теоретичні узагальнення з практичними рекомендаціями і прикладами. Цей курс широко розійшовся та отримав загальне визнання серед інженерів і техніків. У Харкові було здійснене перше друкарське видання знаменитого підручника Кирпичова [3]. Велику роль відводив В. Л. Кирпичов експериментальним дослідженням. Близько 100 сторінок другої частини підручника присвячене механічним властивостям матеріалів, які використовуються в машинах.

У своїй блискучій педагогічній та науковій діяльності В. Л. Кирпичов сповідував нове правило поєднання теоретичної підготовки з лабораторними заняттями й виробничою практикою, на той час нетиповий. Він організував найкращу в державі механічну лабораторію, підпорядковану директорові ХПТІ [2]. Найкрупнішим придбанням в перші роки існування механічної лабораторії ХПТІ була горизонтальна універсальна машина Вердера на 100тс та випробувальні машини і прилади із Швейцарії, Англії, Німеччини. Під керівництвом В. Л. Кирпичова вона виконувала важливу роль як в проведенні навчального процесу, так і для наукових досліджень і промислових випробувань для оцінки можливостей використання на практиці матеріалів на замовлення підприємств і організацій. В. Л. Кирпичов приймав участь в розслідуванні катастрофи імператорського поїзду в 1888 р. біля Харкова.

Механічна лабораторія була пристосована для проведення експериментів з всебічного механічного випробування металів, каміння, цементу та інших будівельних матеріалів. В 1896 р. В.Л. Кирпичов обґрунтував необхідність введення у вищих навчальних закладах систематичного викладання експериментальних методів дослідження матеріалів і машин [4]. В механічній лабораторії К. О. Зворикін виконав дослідження зусиль і роботи при зніманні стружок, за яке удостоївся премії Російського технічного товариства. Випускник ХПТІ 1891 р. М. К. Циглер працював лаборантом при механічній лабораторії. У подальшому він був професором Варшавського політехнічного інституту та Санкт-Петербурзького університету, займався розробкою планів та програм при створенні Московської гірничої академії. Випускник ХПТІ І.І. Бобариков з 1894 р. проводив практичні і лабораторні заняття разом з В.Л. Кирпичовим в механічній лабораторії. У подальшому він був директором Томського технологічного інституту, проректором Московського державного університету, заслуженим діячем науки і техніки.

„Батько російських інженерів” В. Л. Кирпичов був засновником і головою Південноросійського товариства технологів (ПТТ), почесним членом першого з'їзду

російських діячів по металургії, машинобудуванню і гірській справі, головою другого з'їзду. В. Л. Кирпичов був заступником голови Харківського математичного товариства. Ця посада після нього перейшла до майбутнього академіка О. М. Ляпунова. У 1893 р. В. Л. Кирпичов відряджався експертом та секретарем комісії по машинобудуванню на Всесвітню промислову виставку в Чикаго [2].

У подальшому В. Л. Кирпичов був фундатором і першим директором Київського політехнічного інституту (КПІ), головою будівельної комісії та професором Санкт-Петербурзького політехнічного інституту [2].

У стінах ХПТІ у 1888 році Х. С. Головіним був вперше прочитаний курс „Будівельна механіка”. Х. С. Головін, видатний російський інженер і вчений у галузі будівельної механіки і теорії пружності, уперше розв'язав задачу про міцність кривих стрижнів [1]. У 1892-1902 рр. Х.С. Головін був директором Санкт-Петербурзького технологічного інституту (СПТІ).

Після В. Л. Кирпичова директором інституту, який у зв'язку з поглибленням теоретичної освіти був перейменований у Харківський технологічний інститут (ХТІ), був Д. С. Зернов – видний фахівець з прикладної механіки [5]. Курс опору матеріалів Д. С. Зернов читав з 1898 р. по грудень 1902 р. Він написав курс „Опір матеріалів”, літографоване видання цього курсу виходило в Харкові двічі – в 1900 і 1902 рр. [6]. Д. С. Зернов був головою ПТТ. Він завідував механічною лабораторією, в якій проводились дослідження зразків металу на розрив різних видів заліза і червоної міді, властивостей каміння для залізниць, можливостей його використання для споруд, цегли – на визначення сили опору на роздрібнення.

У 1901 році особлива комісія під головуванням директора Д. С. Зернова розробила проект інженерно-механічного корпусу для ряду лабораторій: механічної, гідравлічної і по випробуванню частин машин. До 1904 року був складений проект будівлі і влітку 1904 року відбулася закладка нової будівлі [1]. У 1902 - 1922 роках Д. С. Зернов був директором СПТІ.

Голова групи технічної механіки АН СРСР і директор Інституту механіки АН СРСР Б.Г. Гальоркін назвав в числі найбільш видатних вчених, які працювали в галузі будівельної механіки В. Л. Кирпичова, Х. С. Головіна, Д. С. Зернова, „сыгравших огромную роль в подготовке инженеров” [7].

У ХТІ розпочав у 1901 році науково-педагогічну діяльність Г. Ф. Проскура, учень М. Є. Жуковського та Д. С. Зернова. Він проводив практичні і лабораторні заняття з опору матеріалів. В подальшому Г. Ф. Проскура став видатним вченим-гідромеханіком, дійсним членом Академії Наук Української РСР, заслуженим діячем науки і техніки Української РСР; лауреатом Державної премії [1]. В.А. Стеклов в 1893-1905 рр. читав курс теоретичної механіки в ХТІ. Крім того, він також читав ще лекції з опору матеріалів та теорії пружності [8]. В 1921 році академік В.А. Стеклов створив фізико-математичний інститут.

Курс „Графічна статика” після В. Л. Кирпичова з 1898 по 1905 рр. і курс „Будівельна механіка” після Х. С. Головіна з 1895 по 1905 рр. читав професор, помічник директора ХТІ О. І. Предтеченський [9].

З 1903 по 1905 рр. курс „Опір матеріалів” читав професор О. М. Соломко,

відомий фахівець у галузі прикладної механіки та підйомно-транспортних машин. З 1905 до 20-х рр. курс „Графічна статика” читав професор М. А. Воскресенський. Секретар навчального комітету ХТІ В.А. Немолодишев читав курси „Графічна статика” та „Будівельна механіка” [9].

Механічною лабораторією завідували в 1903 р. проф. О. М. Соломко, з 1904 по 1906 рр. та з 1924 по 1928 рр. – Я.В. Столяров, випускник ХТІ (1902 р.). Дослідження були спрямовані на вивчення міцності будівель і машин, особлива увага приділялася проблемам будівельної механіки; здійснювалися дослідження основних характеристик міцності будівельних матеріалів. Результати науково-дослідної роботи співробітники ХТІ оприлюднювали через різноманітні видання та використовували у своїй викладацькій діяльності. Помічник директора ХТІ, заслужений професор, декан інженерно-будівельного факультету ХТІ Я. В. Столяров з 1905 р. читав курси „Опір матеріалів”, з методів механічного випробування металів, каміння, цементу і інших будівельних матеріалів та вперше – залізобетону. Підручники Я.В. Столярова „Опір матеріалів” видавалися в Харкові в 1907 і 1918 рр. Він склав кваліфіковану і якісну систему викладання прикладної механіки [8].

З 1906 по 1923 рр. курси „Опір матеріалів”, „Методи механічних випробувань” і „Будівельна механіка” читав професор В. М. Серебровський. Підручники В.М. Серебровського „Опір матеріалів” видавалися в Харкові в 1907, 1911, 1913, 1914 і 1918 рр.; „Підпирні стінки” – в 1924 і 1926 рр.; „Будівельна механіка: статика конструкцій” – в 1927 р. У цих підручниках висвітлювались новітні методи розрахунку при проектуванні конструкцій. Заслужений професор ХТІ В. М. Серебровський завідував механічною лабораторією з 1906 по 1923 рр. Головна увага приділялася характеристикам міцності різних типів будівельних матеріалів, створенню інженерних методів розрахунку міцності конструкцій. У 1907 році інженерно-механічний корпус був закінчений, і механічна лабораторія була переведена в нижній поверх нового корпусу. Механічною лабораторією у 1911 році завідував випускник ХТІ (1891 р.), професор Г. Ф. Бураков, у подальшому ректор ХТІ [1].

З 1921 р. курси „Опір матеріалів” і „Будівельна механіка” читав професор О.С. Гловайський, відомий фахівець у області будівельної механіки стрижневих систем, сипких тіл і гідротехніки. Гловайський завідував механічною лабораторією з 1923 по 1924 рр. З 1930 р. він став завідувачем кафедри „Будівельна механіка” Харківського інженерно-будівельного інституту (ХІБІ), доктором технічних наук, Заслуженим діячем науки і техніки України. Випускник ХТІ Н. К. Сартіні читав курс будівельної механіки ХТІ у 1921–1927 рр.. Він у подальшому став першим завідувачем робочого факультету ХІБІ. П.Б. Гольман у 1926-1927 рр. читав курси лекцій з опору матеріалів та теорії пружності. Він у подальшому став деканом механіко-машинобудівного факультету Уральського державного університету [9]. З 1928 по 1930 рр. механічною лабораторією завідував видний фахівець в області випробування матеріалів та конструкцій, заслужений професор, декан інженерно-будівельного факультету М.М. Абрамов, який раніше працював ректором Донського політехнічного інституту.

У 1929 р. ХТІ було перетворено у ХПІ. У 1930 р. з ХПІ було виділено

п'ять вищих навчальних закладів: механіко-машинобудівний (ХММІ), хіміко-технологічний (ХХТІ), електротехнічний (ХЕТІ), авіаційний інститут, ХІБІ. У квітні 1930 р. в інституті був створений фізико-механічний факультет, у повоєнні роки названий інженерно-фізичним [1, 11]. Першим його деканом став І. В. Обреїмов, перший директор Українського фізико-технічного інституту (УФТІ). Професор І. В. Обреїмов, у подальшому академік АН СРСР та лауреат Сталінської премії, опублікував роботу по дослідженню міцності слюди [10]. Ця робота була представлена в журнал П. Л. Капицею. Важливість роботи І. В. Обреїмова, яка часто цитується в сучасній світовій науковій літературі, заключається в тому, що він побудував теорію росту тріщини, яка базується на методах опору матеріалів (теорії згину балки).

У ХММІ кафедрою опору матеріалів завідував з 1931 по 1950 рр. доктор технічних наук В. І. Блох. Професор В. І. Блох був одним з перших деканів фізико-механічного факультету [11]. Він читав курси „Опір матеріалів” і „Теорія пружності”. Йому належить цілий ряд оригінальних робіт по дослідженню загальних рішень просторової задачі теорії пружності, застосуванню функцій напруг в теорії пружності, по теорії товстих плит. Під керівництвом В. І. Блоха на кафедрі і в лабораторії механічних випробувань матеріалів були розроблені і виготовлені різні установки і прилади: установка по дослідженню напруг і деформації при крученні стрижня методом мембранної аналогії, компаратор і поворотний настановний круг для дослідження напружень поляризаційно-оптичним методом, прилади для вимірювання малих деформацій в конструкціях. В. І. Блох є автором великої монографії „Теорія пружності” [9]. У ХЕТІ кафедрою опору матеріалів завідував доцент А. В. Родкевич. У ХХТІ кафедрою технічної механіки, де читали курс „Опір матеріалів”, завідував доцент І. Д. Єлисеєв [9].

Механічна лабораторія кафедри опору матеріалів стала центральною станцією з випробування матеріалів та проблем машинобудування і обслуговувала Україну та інші республіки СРСР. Завідували механічною лабораторією з 1930 по 1931 рр. інженер М. Я. Латиш, з 1931 по 1934 рр. – інженер А.М. Василенко, з 1934 по 1941 р.р. – доц. А. С. Вольмір, згодом доктор технічних наук, професор Військово-повітряної Академії, видатний учений в області пластин і оболонок, заслужений діяч науки та техніки. У механічній лабораторії працював випускник ХТІ 1926 року Б. Г. Скрамтаєв, згодом Голова технічної ради Наркомбуду СРСР та заступник міністра промисловості будівельних матеріалів СРСР, лауреат Державної премії СРСР.

В період Великої Вітчизняної війни інженерно-механічний корпус був зруйнований. Після звільнення Харкова почалося відновлення механічної лабораторії. Не дивлячись на те, що великий зал лабораторії була зруйнований, заняття із студентами проводилися в інших приміщеннях 1-го поверху корпусу. Відновлювальні роботи повністю були закінчені до 1950 р.

У 1950 р. на базі ХММІ, ХЕТІ, ХХТІ та Харківського інституту інженерів цементної промисловості (ХІЦП) був створений ХПІ, в якому з 1950 по 1976 рр. кафедру опору матеріалів очолював доцент К. В. Ковальов, який з

1927 по 1930 рр. навчався в ХТІ, був першобудівником „Азовсталі”, працював деканом факультетів ХІБІ, заступником директора ХПЦП. В роботах К.В. Ковальова розвивався метод розрахунку конструкцій за допомогою моделей (метод вимушених переміщень), який використовувався для плоских і просторових тонкостінних конструкцій, а також в розрахунках комбінованих і стрижньових систем (пластини, оболонки).

Опір матеріалів був фундаментальною дисципліною загальноінженерної освіти вищих технічних шкіл світу, що встановлювала зв'язок між теоретичними науковими дисциплінами і прикладними задачами та методами їхнього розв'язку, котрі виникали при проектуванні машин і механізмів. Наукова робота на кафедрі опору матеріалів продовжувалася в декількох напрямках як експериментального, так і розрахунково-теоретичного характеру. Зокрема, в роботах М. І. Плюксне проводився розрахунок на міцність валів з пазом шпони. М. Г. Пінський досліджував вигин моментними зусиллями тонких пластин з криволінійними шайбами; В. С. Сумцов – напружений стан циліндра кінцевої довжини і кільця при несиметричній деформації.

В 1958 році основоположник прикладної механіки суцільних середовищ, один із організаторів Української Академії наук С. П. Тимошенко відвідав механічну лабораторію ХПІ, з якою він та його рідні багато років співпрацювали. Тимошенко був одним з найкращих учнів В. Л. Кирпичова та послідовником В. М. Серебровського у КПІ. Співробітники кафедри опору матеріалів розробляли експериментально-теоретичні підходи до вирішення задач та інженерні методи розрахунку на міцність елементів конструкцій.

В. Н. Шаповалов займався задачами термопружності для плоских багатозв'язкових областей і методами фотопружності. У 1965 р. громадянин В'єтнаму аспірант Ле Конг Чунг захистив кандидатську дисертацію, присвячену розрахунку кругового кільця на пружній основі.

В. Л. Хавін застосував градієнтні методи для оптимізації роторів, дисків і інших конструктивних елементів турбомашин. Ю. А. Ярошок запропонував метод розрахунку динаміки і надійності фрикційних запобіжних муфт силових передач. А. І. Стрельченко розробляв методи вирішення краєвих задач в областях складної форми. В. А. Смелянський розробив методику нестационарного дослідження високошвидкісних процесів деформування конструкцій за допомогою оригінального реєструючого комплексу.

В. П. Гончаров, учень М. І. Плюксне, був деканом машинобудівного факультету та підготовчого факультету. В. Я. Кравцов досліджував концентрацію напруг циклічно-симетричної плоскої задачі термопружності для багатозв'язкових областей конструкцій.

Важливим етапом у розвитку досліджень з основних проблем статичної та динаміки конструкцій, у підготовці інженерних та наукових кадрів був період керівництва кафедрою опору матеріалів з 1976 р. по 2003 р. професором В.В. Бортовим, випускником ХПІ 1957 р. Кафедра була опорною у Міністерстві освіти України і здійснювала координацію організаційної та учбово-

методичної роботи у вузах. На її базі проводилися республіканські наради та семінари по учбово-методичній роботі. Академік Інженерної академії України В. В. Бортовой був фахівцем у області нелінійної механіки та анізотропної пластичності і повзучості конструкцій [11].

У 80-х роках в рамках цільової комплексної термоядерної програмі колишнього СРСР проводилися дослідження електромагнітних систем токамаків та торсатронів в сумісних ХПІ та УФТІ науково-дослідних роботах. На кафедрі виконувались розрахунки складних електромеханічних систем для торсатрона „Ураган – М”, Токамака ТБ-0 і перспективної серії міжнародного Токамака „ІНТОР” [11]. Кафедра під керівництвом В. В. Бортового взяла участь у реалізації комплексної програми за Постановою Кабінету міністрів СРСР і Академії наук СРСР для НВО „Енергія”. Ці дослідження були реалізовані у вигляді апаратури та конструкцій. Унікальний мікродеформатор для автоматизованих випробувань матеріалів у відкритому космосі пройшов успішну експлуатацію на космічній станції „Салют-7”.

Унікальна „розгортаєма” стрижньова космічна конструкція з оптимальними жорсткістю–ваговими характеристиками пройшла успішну експлуатацію на космічній станції „Мир”. За результатами роботи було отримано 3 авторських свідоцтва СРСР. За високі досягнення в науковій діяльності лауреата Державної премії України В. В. Бортового нагороджено багатьма нагородами: золотою медаллю ВДНГ СРСР, медаллю імені С. П. Корольова, золотою медаллю Інженерної академії України.

У 2003-2008 рр. кафедрою опору матеріалів завідував В. І. Лавінський – відомий фахівець у галузі методів розрахунку на міцність структурно-зв'язаних елементів конструкцій, методів вирішення задач про взаємодію тіл в полях різної фізичної природи, автор ряду нових магнітно-імпульсних технологій для формоутворення виробів [11]. Доктор технічних наук, професор В.І. Лавінський був академіком Академії вищої освіти України.

Прогрес сучасної обчислювальної техніки сприяв посиленню інтеграції комп'ютерних технологій (CAE-технологій) для симуляції, інженерного аналізу і оптимізації реальних процесів металообробки, високошвидкісних силових впливів і випробувань. На кафедрі були розроблені математичні моделі і чисельно-аналітичні методи аналізу міцності, жорсткості, динамічних процесів модульних фізично-геометрично нелінійних структурно зв'язаних систем, які мають локальні недосконалості в умовах імпульсного, повторного і ультразвукового навантажень з урахуванням контактної взаємодії. Об'єктом дослідження були складені матриці для обробки тиском, лопаткові машини, індукторні системи для магнітно-імпульсної обробки тонкостінних металевих об'єктів, динамічні великогабаритні системи, високочастотні системи різного призначення. Професор кафедри Е. А. Сімсон став заслуженим діячем науки та техніки України, академіком Інженерної академії України, лауреатом Державної премії України в галузі науки та техніки. На базі кафедри опору матеріалів проводиться щорічна регіональна науково-технічна конференція „Кирпичевские чтения”.

Висновки. Кафедра „Опір матеріалів” пройшла шлях еволюції досліджень від експериментальної та будівельної до обчислювальної механіки машин. Традиції наукової діяльності та вивчення механіки, закладені видатними вченими-педагогами, продовжуються та знаходять втілення в новітніх перспективних напрямках сучасної механіки та технологій.

Список літератури: 1. *Харьковский политехнический институт. 1885–1985: история развития*; Отв. ред. Н.Ф. Киркач. – Х. : Вища школа, 1985. – 223 с. 2. *Чеканов А. А.* Виктор Львович Кирпичев / А.А. Чеканов. М.: Наука, 1982. – 173 с. 3. *Кирпичев В. Л.* Соппротивление материалов. Учение о прочности построек и машин. Ч. 1 / В.Л. Кирпичев. – Харьков : Типография Адольфа Дарре, 1898. – 323 с. 4. 2-й Съезд русских деятелей по техническому и профессиональному образованию в России / Под ред. Д.С. Зернова, С.П. Ланговаго. – Москва: Типо-Лит. И. Д. Худякова, 1898. – 131 с. 5. *Назаренко С. А.* Основные работы профессора Д. С. Зернова / С. А. Назаренко, В. Л. Хавин, Н. В. Непран, Л. П. Семененко / Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип. : Машинознавство та САПР. – Х. : НТУ «ХПІ». – № 51. – 2011. – С. 16–23. 6. Соппротивление материалов: лекции, читан. проф. Д. С. Зерновым / Д. С. Зернов. – Харьков: Тип. и лит. М. Зильберберг и С-вья, 1902. — 479 с. 7. *Галеркин Б. Г.* Развитие строительной механики в СССР / Б.Г. Галеркин / Математика и естествознание в СССР. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 8. *Вовкотруб Ю.М.* Історія розвитку прикладної механіки в Україні в XIX – першій чверті XX ст.: дис. ...канд. іст. наук : 07.00.07 / Ю. М. Вовкотруб – К., 2006. – 179 с. 9. *История* Харьковского технологического института в лицах. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://library.kpi.kharkov.ua/PREPODAVATELY/PR_%D0%9B.html. 10. *Obreimoff J. W.* The Splitting Strength of Mica / Obreimoff J. W. / Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Vol. CXXVII. № 804. – P. 290-297. 11. *Морачковский О. К.* Инфиз: очерки истории творчества / О. К. Морачковский. – Х.: ЭнергоКлуб Украины, 2005. – 372 с.

Надійшла до редколегії 12.02.13

УДК 539.3

Л.А. ПАРХОМЕНКО, ст. препод. каф. “Высшая математика”, Харьковский гос. ун-т питания и торговли, Харьков;

Е.И. ЗИНЧЕНКО, к.т.н., доц., доц. каф. ТММиСАПР, НТУ “ХПИ”

АНАЛИЗ ДИФФУЗИОННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛОСКОЙ МЕМБРАНЕ РЕАКТОРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ГАЗА

Розглянуто задачу дифузії вакансій кисню у плоскій мембрані реактора для виробництва синтетичного газу. Моделью плоскої мембрани є тонка кругла пластина в умовах узагальненого плоского напруженого стану. Отримано аналітичний розв’язок для визначення концентрації вакансій кисню та дифузійних напружень, беручи до уваги хімічне поверхнєве масоперенесення. Розглянуто чисельний приклад з двома типами граничних умов.

Ключові слова: дифузійне напруження, трубчаста мембрана, реактор, киснева нестехіометрія, хімічне поверхнєве масоперенесення, концентрація вакансій кисню

Рассмотрена задача диффузии вакансий кислорода в плоской мембране реактора для производства синтетического газа. Моделью плоской мембраны является тонкая круглая пластина в условиях обоб-

© Л.А. Пархоменко, Е.И. Зинченко, 2013